



ECOLOGICAL RESTORATION
IN COAL MINING AREA

采煤区土壤 治理与修复

高永 虞毅 汪季 刘美英 等著



科学出版社

采煤区土壤治理与修复

Ecological Restoration in Coal Mining Area

高永虞毅汪季刘美英等著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书由国家林业局林业公益性行业科研专项“采煤沉陷区植被恢复与重建技术研究(201104002-5)”和“风积沙产业化利用及其迹地植被营建技术研究(201204205)”等项目资助。

本书以采煤区土壤治理与修复为主题,针对采煤沉陷区与露天矿复垦区的土壤质量特征,以及变化的规律,提出了采煤沉陷区土壤培肥保水技术,以及露天矿排土场的护坡措施。本书是课题组成员对多年来采煤区的土壤治理与修复研究成果的系统总结,为采煤区的植被恢复重建提供了行之有效的理论支撑,对采煤区土壤环境的保护与建设具有重要指导意义。

本书适合从事矿山开采迹地恢复、环境保护、林业、荒漠化防治、水土保持、土壤等专业的科技工作者及从事相关领域工作的人员阅读,也可作为高等院校相关专业的教材及教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

采煤区土壤治理与修复 / 高永等著. —北京: 科学出版社, 2016.2

ISBN 978-7-03-045664-9

I. ①采… II. ①高… III. ①煤矿开采—采区—土壤污染—污染防治—研究
IV. ①X752

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218524 号

责任编辑: 张会格 夏 梁 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京铭轩堂广告设计分公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 2 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2016 年 2 月第一次印刷 印张: 17 1/2

字数: 353 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《采煤区土壤治理与修复》编撰委员会

主 编 高 永 虞 毅 汪 季 刘美英

副 主 编 陈士超 蒙仲举 王 健 包斯琴 马迎宾 黄雅茹

著 者 (以姓氏笔画为序)

丁延龙 马迎宾 王 珊 王 健 牛 星 包斯琴

刘 阳 刘 博 刘 斌 刘美英 李锦荣 杨婷婷

吴 昊 汪 季 宋文娟 张 宇 张晓燕 陈 曦

陈士超 姚国征 贺明辉 党晓宏 高 永 黄 昕

黄雅茹 葛 楠 韩彦隆 蒙仲举 虞 毅 臧荫桐

前 言

煤炭作为我国重要的能源物质，是国民经济发展的物质基础，对经济建设和社会发展起着至关重要的作用，是实现我国经济与环境可持续发展战略的重要保障。但随着现代科学技术与社会经济的发展，矿区煤炭的开采量急剧增加，同时也引发了一系列的生态环境问题。尤其是井工开采引起土地的沉陷，以及露天矿开采导致地表严重破坏与挖损，对矿区的土壤结构与植被造成巨大的破坏，严重影响了矿区生态环境可持续发展。

采煤沉陷引起的土壤质量的变化，使土壤结构组成、土层厚度、土壤含水量等都发生变化，同时，由于采煤沉陷造成的大量沉陷裂缝，土壤水分的蒸发与渗漏的增强，导致灌溉和降雨后土壤养分易于淋溶，降低土壤质量，在一定程度上影响了天然植被的生长，使矿区水土流失加重，严重破坏了矿区自然景观，进一步恶化了本来就已经相当脆弱的矿区生态环境。由于露天矿的开采对原有土地的挖损、压占和占用，加剧地表水土流失、土壤风蚀沙化、盐碱化，输入矿区土壤环境污染物的速度和量超过了土壤环境对该物质的承载和容纳能力，使土壤原有的功能发生了质的变化。

矿区土壤修复是一项利国利民的生态治理系统工程，是我国土地整治和环境保护工作的重要组成部分，所以矿区土壤修复的研究也一直是国内外研究关注的焦点问题。通过土壤修复的整治改造，能使失去生产能力和生态功能的土地资源得到恢复和利用，再因地制宜地发展农、林、牧、副、渔业生产，这对实现矿区经济、环境和社会的协调持续发展具有重要的意义。

本书以毛乌素沙地南缘晋陕蒙交界的神东矿区补连塔矿和呼伦贝尔盟的伊敏露天-煤矿的土壤修复为主题，共分六章：第一章对煤炭资源进行总体概括，介绍煤炭资源在我国及世界范围内的战略地位和作用，阐述由于煤炭开采所造成的一系列生态环境问题，以及我国与世界范围内矿区土地复垦研究的现状。第二章介绍由于采煤沉陷所引发的土壤环境变化，研究了不同时空分布下的土壤结构的改变，土壤水分及养分的变化规律，分析了采煤沉陷裂缝对其周边土壤物理性质、土壤水分及土壤养分的影响。第三章针对采煤沉陷给土壤环境造成的影响，提出了以土壤培肥为手段的煤沉陷区的土壤修复技术，以及使用覆盖材料和保水剂为方法的土壤综合保水技术。第四章通过多年对土壤理化性质及供试植物生长情况的分析，提出了露天矿土壤的培肥技术与保水技术。第五章系统分析了露天矿复

垦后土壤结构、土壤养分、土壤生物学质量特征的变化规律，建立了复垦土壤质量评价体系与复垦区土壤质量演变模型。第六章介绍了新型材料的露天矿排土场护坡技术，主要从 PLA 护坡的施工设计、防护效果、材料的机械性能及推广应用的前景进行了系统阐述。

本书所有著者为完成本书进行了大量的数据分析与资料整理工作，为本书的顺利书写完成贡献了辛勤的劳动和智慧，参与编写的有内蒙古农业大学、国际竹藤中心、中国林科院沙漠林业实验中心、水利部牧区水利科学研究所、内蒙古国土资源信息院、中国农科院草原研究所、内蒙古水利科学研究院、内蒙古森林资源资产评估管理中心等单位的 20 余人。第一章“煤炭资源概述”由陈士超、姚国征、刘美英完成。第二章“采煤沉陷区土壤环境”由汪季、陈士超、刘美英、臧荫桐、党晓宏完成。第三章“采煤沉陷区土壤修复技术”由高永、汪季、刘美英、蒙仲举、陈士超完成。第四章“露天矿土壤修复技术”由刘美英、陈士超、包斯琴、马迎宾、王珊、吴昊完成。第五章“复垦区土壤环境与质量特征”由高永、刘美英、陈士超、牛星、李锦荣、王健、韩彦隆、宋文娟、刘博完成。第六章“露天矿排土场聚乳酸纤维维护坡技术”由虞毅、张宇、杨婷婷、刘阳、张晓燕、黄雅茹、贺明辉、陈曦、葛楠、黄昕、刘斌、丁延龙完成。本书由党晓宏、贺明辉统稿，由内蒙古农业大学马玉明教授担任主审。

本书在撰写过程中参考和引用了国内外有关书籍和文献，特此感谢。本书承蒙科学出版社的大力支持，编辑人员为此付出了辛勤劳动，在此表示诚挚感谢。

由于著者学术水平有限，书中若有不足之处，敬请各位专家和读者批评指正。

著 者

2015 年 5 月于呼和浩特

目 录

前言

第一章 煤炭资源概述.....	1
第一节 世界煤炭资源.....	1
一、煤炭资源的战略地位和作用	1
二、世界煤炭资源及其分布	2
三、世界煤炭生产和消费概况	3
第二节 中国的煤炭资源.....	4
一、我国煤炭资源及其分布	4
二、我国煤炭生产及其利用现状.....	9
第三节 采煤对环境的影响.....	14
一、对地质环境的影响.....	14
二、对土地资源和土壤环境的影响.....	15
三、对水环境的影响.....	15
四、对大气环境的影响.....	16
五、固体废物	16
六、对声环境的影响.....	17
七、对植被的影响	17
八、对生态系统的影响.....	17
第四节 采煤区土地复垦的目的、现状及任务.....	18
一、采煤区土地复垦的目的	18
二、采煤区土地复垦研究现状	19
三、采煤区土地复垦的任务	21
参考文献	23
第二章 采煤沉陷区土壤环境	25
第一节 沉陷区土壤特性的时空变化.....	26

一、沉陷区土壤结构.....	26
二、沉陷与土壤水分.....	31
三、沉陷与土壤肥力.....	38
第二节 沉陷裂缝处土壤特性的时空变化.....	54
一、沉陷裂缝与土壤结构.....	54
二、沉陷裂缝与土壤水分.....	58
第三节 沉陷裂缝与土壤肥力.....	89
一、沉陷裂缝对两侧土壤碱解氮含量的影响.....	89
二、沉陷裂缝对两侧土壤速效磷含量的影响.....	90
三、沉陷裂缝对两侧土壤速效钾含量的影响.....	91
四、沉陷裂缝处土壤养分流失率分析.....	91
五、空间变异性分析.....	92
参考文献.....	92
第三章 采煤沉陷区土壤修复技术.....	94
第一节 采煤沉陷区土壤培肥技术.....	94
一、采煤沉陷区土壤培肥的目的及意义.....	94
二、土壤培肥原理及研究概况.....	96
三、神府-东胜煤矿区自然概况.....	99
四、研究内容与方法.....	101
五、划分立地类型及确定植被建设目标.....	103
六、土壤背景肥力分析与评价.....	108
七、结合复垦目标的土壤单元培肥.....	120
第二节 采煤沉陷区土壤保水技术.....	129
一、多因素土壤保水技术.....	129
二、双因素保水技术.....	143
参考文献.....	162
第四章 露天矿土壤修复技术.....	163
第一节 露天矿土壤培肥技术.....	164
一、污泥、腐殖酸及羊厩肥对文冠果生长的影响.....	166
二、污泥、腐殖酸及羊厩肥对栽培基质速效氮的影响.....	168

三、污泥、腐殖酸及羊厩肥对栽培基质速效磷的影响.....	169
四、污泥、腐殖酸及羊厩肥对栽培基质速效钾的影响.....	171
第二节 露天矿土壤保水技术.....	172
一、不同添加物料对栽培基质保水性能的影响.....	172
二、污泥、腐殖酸及羊厩肥对植物凋萎时间的影响.....	175
参考文献.....	179
第五章 复垦区土壤环境与质量特征	180
第一节 复垦区土壤结构特征.....	181
一、土壤机械组成.....	181
二、土壤微团聚体.....	184
第二节 复垦区土壤养分特征.....	187
一、土壤水分.....	188
二、土壤容重.....	189
三、土壤有机质及 C/N.....	191
四、土壤氮素.....	193
五、土壤磷素.....	197
六、土壤钾素.....	199
七、土壤阳离子交换量 (CEC).....	202
八、土壤 pH.....	204
九、土壤电导率.....	205
第三节 复垦区土壤生物学质量特征.....	207
一、土壤酶活性.....	207
二、土壤微生物.....	214
三、土壤微生物量.....	221
第四节 复垦区土壤质量评价.....	228
一、土壤质量评价方法及其步骤.....	229
二、土壤质量评价指标隶属度的确定.....	229
三、土壤质量评价指标体系的建立.....	232
四、土壤综合质量评价.....	240
五、土壤综合质量演算模型.....	242

参考文献.....	242
第六章 露天矿排土场聚乳酸纤维护坡技术	245
第一节 PLA 简介及应用.....	245
第二节 排土场边坡水蚀研究.....	247
一、排土场边坡侵蚀沟程度测定.....	249
二、排土场边坡地表糙度测定.....	250
三、排土场土壤容重测定.....	251
四、排土场植被调查.....	252
第三节 PLA 护坡的施工设计及改进应用.....	253
一、护坡的施工设计.....	253
二、护坡的施工改进及影响因素分析.....	255
第四节 PLA 护坡防治坡面水蚀危害效果.....	258
一、PLA 护坡对地表粗糙度的影响.....	258
二、PLA 护坡对侵蚀沟变化的影响.....	259
三、PLA 护坡对边坡侵蚀状况的影响.....	261
第五节 PLA 纤维机械性能.....	264
一、PLA 纤维降解特性测定.....	264
二、PLA 纤维机械性能变化研究.....	264
第六节 PLA 护坡成本分析及推广应用前景.....	268
一、PLA 护坡成本分析.....	268
二、PLA 护坡的推广应用前景.....	269
参考文献.....	270

第一章 煤炭资源概述

第一节 世界煤炭资源

一、煤炭资源的战略地位和作用

能源是人类生存、经济发展进步最基本的驱动力，是人类赖以生存的基础，原始社会对火的使用是人类展开文明历史的重要标志，而后每一次人类文明的重大进步都伴随着对能源开发和利用的重大变革，整个人类历史就是一部利用能源并不断发展的历史。

伴随着化石能源的发现、开采与利用，加快了世界能源消费结构的变革，化石能源的开发和利用极大地推进了世界经济和人类社会的发展。18世纪至19世纪中叶，煤炭逐渐替代薪柴并占据能源结构的主导地位；20世纪20年代以后，伴随石油资源的发现和石油工业的发展，世界能源结构再次发生改变；到20世纪60年代以后，石油与天然气取代煤炭占据了能源结构的主导地位，动摇了煤炭长达一个多世纪的能源主宰地位。20世纪70年代以来，两次石油危机的爆发，加之化石燃料开发和利用造成的越来越多的负面环境问题，使石油在能源中的支配地位开始动摇，相反促进了人类对太阳能、风能、核能、生物质、地热等能源的开发并取得了重大进展。

这里值得指出的是：化石能源为推动人类经济社会发展做出了重大贡献，以煤炭、石油、天然气为代表的化石能源不仅在过去占据了人类能源消费结构的统治地位，而且现在和将来相当长的时期内都将关系着一国的经济命脉和能源安全，占据世界能源供应的主导地位。根据《BP世界能源统计2013》的数据，2012年世界一次能源的消费总量为124.7亿t油当量，其中石油为41.3亿t油当量，占能源消费总量的33%，位居第一；煤炭为37.3亿t油当量，占能源消费总量的30%，位居第二；天然气为29.8亿t油当量，占能源消费总量的24%，位居第三；水电、核能和可再生能源分别为8.3亿t油当量、5.6亿t油当量和2.4亿t油当量，分别占能源消费总量的7%、4%和2%（图1.1）。

同其他化石燃料资源相比，煤炭是地球上蕴藏量最丰富、分布地域最广、最易使用的化石燃料。近年来，尽管世界能源生产和利用在太阳能、风能、核能、生物质、地热等形式上取得了重要进展，但限于其生产和利用手段及技术上的困

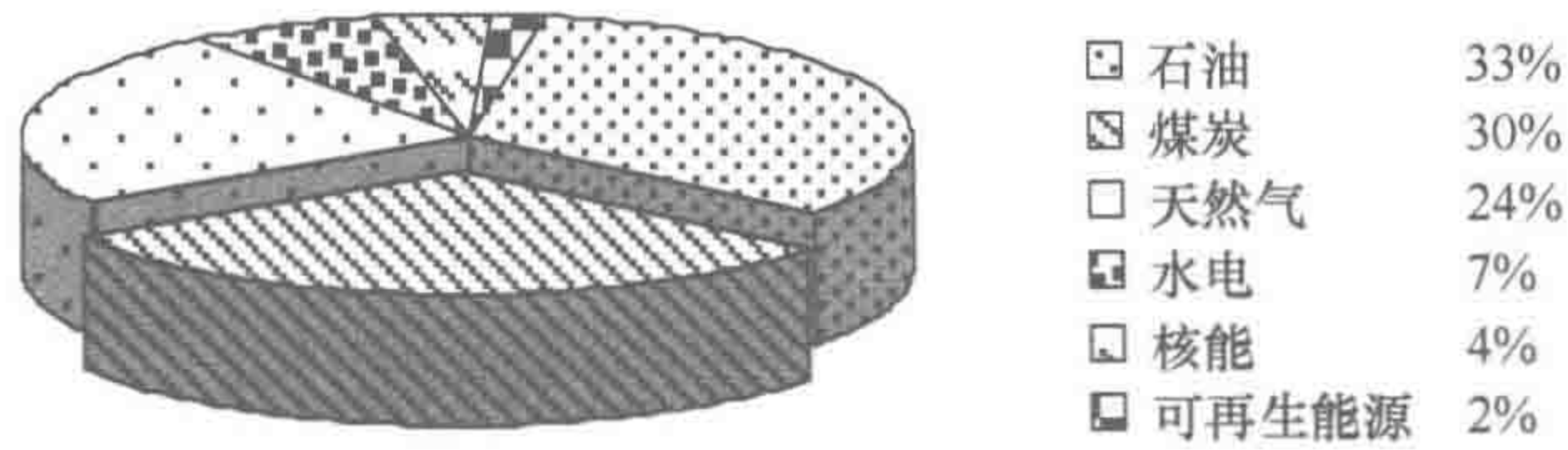


图 1.1 2012 年世界一次能源消费结构

Fig. 1.1 World primary energy consumption structure in 2012

难，加之石油资源的日渐枯竭，煤炭在能源消费结构中的重要地位在短期内不可能发生改变。相反，随着科学技术的飞速发展，煤炭油化、汽化等新技术日趋成熟，并得到广泛应用，煤炭生产和消费比例在今后相当长的一段时间内将继续提高。根据国际能源署预计，未来十年煤炭在能源生产中的比例将提高到 50%，而从 2017 年起，世界煤炭消费量将达到 43.2 亿 t。

二、世界煤炭资源及其分布

煤炭是一种固体可燃性矿物，是古代生物（主要是植物）遗骸埋藏在地下历经复杂的生物化学和物理化学变化逐渐形成的黑色有机可燃沉积岩。它是 18 世纪以来人类使用的主要能源之一，因此被人们誉为黑色的金子、工业的食粮。

根据成煤的原始物质和条件不同，自然界的煤可分为三大类，即腐植煤、残植煤和腐泥煤。在地表常温、常压下，由堆积在停滞水体中的植物遗骸经泥炭化作用或腐泥化作用，转变成泥炭或腐泥；泥炭或腐泥被埋藏后，由于盆地基底下降而沉至地下深部，经成岩作用而转变成褐煤；当温度和压力逐渐增高，再经变质作用转变成烟煤至无烟煤。在整个地质年代中，全球范围内有三个大的成煤期，一是古生代的石炭纪和二叠纪，成煤植物主要是孢子植物，主要煤种为烟煤和无烟煤；二是中生代的侏罗纪和白垩纪，成煤植物主要是裸子植物，主要煤种为褐煤和烟煤；三是新生代的第三纪，成煤植物主要是被子植物，主要煤种为褐煤，其次为泥炭，也有部分年轻烟煤。

一定区域煤层厚度与该地区的地壳下降速度及植物遗骸堆积的厚度有关。一般，地壳下降的速度快，植物遗骸堆积的厚，形成的煤层较厚，反之，地壳下降的速度缓慢，植物遗骸堆积得薄，形成的煤层较薄。煤层的埋深往往与地壳的构造运动有关。地壳的构造运动使原来水平的煤层发生褶皱和断裂，一些煤层被埋到地下更深的地方，有的又被排挤到地表，甚至露出地面。

地球上的煤炭资源丰富但分布不平衡，其主要集中在北半球，北纬 $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 分布的煤炭资源约占全球地质储量的 70%。亚洲和北美洲煤炭储量最为丰富，分别占全球地质储量的 58% 和 30%，欧洲仅占 8%，南极洲储量很少。据《BP 世界

能源统计 2014》发布：2013 年全球原煤可采储量为 8915.31 亿 t。其中欧洲及欧亚大陆占世界煤炭可采储量的 34.8%，亚太地区占 32.3%，北美洲占 27.5%，中东及非洲占 3.7%，中南美洲仅占 1.6%；世界煤炭可采储量的 57.1%集中在美国、俄罗斯和中国，其中美国占 26.6%，俄罗斯占 17.6%，中国占 12.8%；此外，澳大利亚、印度、德国等其余 7 个可采储量前 10 名的国家共占 34.0%（表 1.1）。按照 2013 年煤炭产量和可采储量比例分析，全球储采比为 113 年，其中美国储采比为 266 年，俄罗斯为 452 年，而中国仅为 31 年，远远低于可采储量前 10 名的其他国家。世界人均煤炭资源占有量为 312.7t，中国人口众多，人均占有量约为 234.4t，低于世界人均占有量，而美国人均占有量高达 1045t，远高于世界和我国人均水平。

表 1.1 2013 年原煤可采储量世界前 10 位国家

Tab. 1.1 Coal recoverable reserves of the world's top 10 countries in 2013

位次	国家名称	可采储量/亿 t	占世界总量比例/%	储采比/年
1	美国	2372.95	26.6	266
2	俄罗斯	1570.1	17.6	452
3	中国	1145	12.8	31
4	澳大利亚	764	8.6	160
5	印度	606	6.8	100
6	德国	405.48	4.5	213
7	哈萨克斯坦	336	3.8	293
8	乌克兰	338.73	3.8	384
9	南非	301.56	3.4	117
10	印度尼西亚	280.17	3.1	67
世界原煤总可采储量		8915.31	100	113

资料来源：BP 世界能源统计年鉴，2014

三、世界煤炭生产和消费概况

《BP 世界能源统计 2013》发布：2012 年，全球煤炭产量为 78.64 亿 t，折合 38.5 亿 t 油当量，消费量为 37.3 亿 t 油当量。中国煤炭生产和消费占全球比例分别为 47.5%和 50.2%。全球共有 10 个国家煤炭产量超过亿吨，分别为中国、美国、印度、澳大利亚、印度尼西亚、俄罗斯、南非、德国、波兰、哈萨克斯坦，10 国产量合计为 70.66 亿 t，占全球产量的 91.7%，除美国煤炭产量下降外，其余主要产煤国产量均出现不同程度的增长。

据《BP 世界能源统计》数据：1990~2011 年全球煤炭产量增长 62.3%，消费量由 1990 年的 22.1 亿 t 油当量增长到 2011 年的 37.2 亿 t 油当量。亚太地区产量

基数大、增速快, 2011年产量占全球总产量的67.9%, 较1990年翻一番, 消费量增长幅度是世界平均水平的3倍, 2011年亚太地区消费量占全球消费总量的68.6%, 目前已经成为全球煤炭生产中心和消费中心; 欧洲及欧亚大陆产量占全球比例由1990年的39.9%下降到2011年的11.6%, 生产量和消费量均呈负增长; 中南美洲产量仅占世界总产量的1.6%, 但增速最快, 北美洲、中东、非洲产量总体保持平稳, 北美洲、非洲消费量保持平稳, 中东、南美洲消费量占全球消费量比例较低, 但增长速度逐步加快。1990~2011年, 印度尼西亚、越南、哥伦比亚、中国、印度、澳大利亚煤炭产量增速居世界前列, 年均增速分别为17.6%、10.9%、7.1%、5.8%、4.7%、3.3%。2011年我国产量已达到世界总产量的49.5%。印度尼西亚、中国、韩国、印度消费量增长率居世界前列, 年均增速分别为12.2%、6.3%、5.8%、5.5%。2011年我国煤炭消费量占全球总消费量的49.4%。

第二节 中国的煤炭资源

一、我国煤炭资源及其分布

1. 我国成煤地质及赋煤区

我国地质历史上的聚煤期有14个, 其中早石炭世、晚石炭世—早二叠世、晚二叠世、晚三叠世、早—中侏罗世、早白垩世和第三纪为主要聚煤期, 其中又以晚石炭世—早二叠世、晚二叠世、早—中侏罗世和晚侏罗世—早白垩世4个聚煤期最为重要, 相应煤系地层中赋存的煤炭资源量分别占我国煤炭资源总量的26%、5%、60%和7%, 合计占我国煤炭资源总量的98%。

晚石炭世—早二叠世的聚煤作用形成的含煤地层广泛分布于华北地区, 是我国最主要的赋煤区——华北赋煤区。该区大地构造单元为华北地台的主体部分, 地理分布范围西起贺兰山—六盘山, 东临渤海和黄海, 北起阴山—燕山, 南到秦岭—大别山, 包括了北京、天津、山东、河北、山西、河南、内蒙古南部、辽宁南部、甘肃东部、宁夏东部、陕西大部、江苏北部和安徽北部的广大地区。在华北赋煤区内, 还广泛发育了早—中侏罗世含煤盆地, 并见零星上三叠统和第三系含煤地层分布。

晚二叠世的聚煤作用在我国南方十分普遍, 含煤地层广泛分布于秦岭—大别山以南、龙门山—大雪山—哀牢山以东的华南地区, 构成我国的华南赋煤区。该区大地构造单元属扬子地台和华南褶皱系, 地理分布范围包括西南、中南、华东和华南的12个省区。本区内除有以龙潭组为代表的上二叠统含煤地层外, 还有上石炭统、上三叠统—下侏罗统、第三系等含煤地层分布。

早一中侏罗世的聚煤作用在西北地区广泛而强烈，所形成的煤炭资源在该区占绝对优势地位，并构成了我国西北赋煤区的主体。该区大地构造由塔里木地台、天山—兴蒙褶皱系西部天山段和秦祁昆仑褶皱带、祁连褶皱带、西秦岭褶皱带等大地构造单元组成，地理分布范围包括秦岭—昆仑山一线以北、贺兰山—六盘山一线以西的新疆、青海、甘肃、宁夏等省区的全部或大部。此外，该区局部地带尚有石炭—二叠系和晚三叠统含煤地层赋存。早一中侏罗世含煤地层在华北赋煤区的分布也较为广泛。

晚侏罗世—早白垩世含煤地层主要分布在东北赋煤区，是我国东北赋煤区煤层赋存的主要地层。其大地构造单元为兴蒙褶皱系东段、华北地台东北缘及滨太平洋褶皱系，地理范围包括黑龙江、吉林、辽宁中部和北部及内蒙古东部。此外，本区内还有石炭—二叠系、第三系等含煤地层分布。

此外，还有滇藏赋煤区、台湾赋煤区。滇藏赋煤区的聚煤期多，台湾赋煤区以第三纪聚煤作用为主，但两地区的煤层资源意义不大。

2. 我国煤炭资源分布及其特征

我国是世界上煤炭资源储量丰富的国家，仅次于美国和俄罗斯，位居世界第三。从资源赋存、开发利用条件和影响矿区复垦的相关因素上来看，我国煤炭资源分布主要具有以下特点。

1) 我国煤炭资源丰富，品种多样，质量、数量和地区分异大。总体来说，我国大陆煤炭资源丰富，分布广泛，品种多样，质量、数量和地区分异大，总体呈现明显的北多南少、西多东少的分布格局，地理分布及地区分布极不平衡。

从资源赋存总量上来看，根据第三次全国煤田预测资料，我国垂深 2000m 以浅的煤炭资源总量为 55 697.49 亿 t，其中探明保有资源量 10 176.45 亿 t，预测资源量 45 521.04 亿 t。在探明保有资源量中，生产、在建井占用资源量 1916.04 亿 t，尚未利用资源量 8260.41 亿 t。

从南北地域上来看，我国煤炭资源主要分布于昆仑秦岭—大别山一线以北地区。该线以北的我国北方省区煤炭资源量之和为 51 842.82 亿 t，占全国煤炭资源总量的 93.08%；其余各省煤炭资源量之和为 3854.67 亿 t，仅占全国煤炭资源总量的 6.98%。该线以北地区探明保有资源量占全国探明保有资源量的 90%以上；而这一线以南探明保有资源量不足全国探明保有资源量的 10%。从东西地域上来看，我国煤炭资源主要分布于大兴安岭—太行山—雪峰山一线以西地区。该线以西的内蒙古、山西、四川、贵州等 11 个省区，煤炭资源量为 51 145.71 亿 t，占全国煤炭资源总量的 91.83%。这一线以西地区，探明保有资源量占全国探明保有资源量的 89%；而这一线以东地区，探明保有资源量仅占全国探明保有资源量的 11%。

从各省区煤炭资源分布上来看，除上海以外其他各省（市、区）均有分布，

但分布极不均衡。新疆维吾尔自治区煤炭资源量最多，达 19 193.53 亿 t，浙江省煤炭资源量最少，仅 0.50 亿 t。新疆、内蒙古煤炭资源量均在 10 000 亿 t 以上，其煤炭资源量之和为 33 650.09 亿 t，占全国煤炭资源量的 60.42%；探明保有资源量之和为 3362.35 亿 t，占全国探明保有资源量的 33.04%。除新疆和内蒙古以外，山西、陕西、河南、宁夏、甘肃、贵州等 6 个省区煤炭资源量均在 1000 亿 t 以上。以上 8 省区煤炭资源量之和 50 750.83 亿 t，占全国煤炭资源总量的 91.12%；已探明保有资源量之和为 8566.24 亿 t，占全国探明保有资源量的 84.18%。除以上 8 省区以外，煤炭资源量在 500 亿 t 以上的有安徽、云南、河北、山东 4 省。以上 12 省区煤炭资源量之和为 53 773.78 亿 t，占全国煤炭资源总量的 96.55%；已探明保有资源量之和为 9533.22 亿 t，占探明保有资源量的 93.68%。除台湾省外，煤炭资源量小于 500 亿 t 的 17 个省区煤炭资源量之和仅为 1929.71 亿 t，仅占全国煤炭资源量的 3.46%；探明保有资源量仅为 643.23 亿 t，仅占全国探明保有资源量的 6.32%。

从煤炭品种上来看，因成煤原始物质、成煤年代、还原程度、成因类型上的差异及多种地质因素的作用，我国从褐煤到无烟煤各个煤化阶段的煤都有赋存，品种多样，能为各工业部门提供冶金、化工、气化、动力等各种用途的煤源，但各煤类的数量不均衡，地区间的差别也很大。我国非炼焦用煤储量丰富，占煤炭保有储量的 72.3%，特别是其中的低变质烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤及其未分类煤）所占比例较大，占全国煤炭保有储量的 42.5%，无烟煤保有储量仅占全国煤炭保有储量的 10.9%，主要分布在山西和贵州，其次是河南和四川；炼焦用煤（气煤、肥煤、焦煤和瘦煤）的保有储量占全国煤炭保有储量的 27.6%，不仅比例不大，而且品种也不均衡。其中气煤占炼焦用煤的 40.6%，而肥煤、焦煤和瘦煤 3 种炼焦基础煤，分别仅占 18.0%、23.5%和 15.8%。由此可见，我国一般动力燃料煤资源丰富，但优质无烟煤和炼焦用煤资源不足。

从煤炭质量上来看，我国煤炭热值大于 20MJ/kg 的中高热值煤占未利用资源量的 91.80%，低热值煤很少，低热值煤主要是分布于云南和内蒙古东部的褐煤。特低灰煤（灰分小于 5%）、低灰煤（灰分 5%~10%）占尚未利用资源量的 21.63%；低中灰煤（灰分 10%~20%）占尚未利用资源量的 43.90%；中灰煤（灰分 20%~30%）占尚未利用资源量的 32.67%；特低灰—低中灰煤（灰分小于 20%）共占尚未利用资源量的 65.53%，内蒙古、陕西、新疆和山西 4 省区集中了这一类煤资源量的 52.70%。特低硫和低硫煤占尚未利用资源量的 50.37%，低中硫、中硫煤占尚未利用资源量的 34.18%，硫分大于 2%的煤占 15.45%。其中内蒙古、陕西、新疆 3 省区占全国特低硫和低硫煤资源量的 39.05%，占全国低中硫、中硫煤资源量的 27.16%。

2) 资源丰度与地区经济发达程度呈逆向分布。新疆、内蒙古、山西、陕西、河南、宁夏、甘肃、贵州 8 个省区占全国探明保有资源量的 84.18%，而且煤类齐全，煤

质普遍较好，但煤炭资源集中分布的这 8 个省区大多是经济欠发达和不发达的省区。而我国经济最发达、工业产值最高、对外贸易最活跃、需要能源最多、耗用煤量最大的北京、天津、河北、辽宁、山东、江苏、上海、浙江、福建、台湾、广东、海南、香港、广西等 14 个东南沿海省（市、区）只有煤炭资源量 0.27 万亿 t，仅占全国煤炭资源总量的 5.3%，已探明保有资源量之和仅有 548 亿 t，仅占全国煤炭保有储量的 5.5%，不但资源十分贫乏，而且大多是开采条件复杂、质量较差的煤种。

从大区内部来看，煤炭资源分布与消费区分布也极不协调，华东地区煤炭资源储量的 87%集中在安徽、山东，而工业主要在以上海为中心的长江三角洲地区；中南地区煤炭资源储量的 72%集中在河南，而工业主要在武汉和珠江三角洲地区；西南煤炭资源储量的 67%集中在贵州，而工业主要在四川；东北地区相对好一些，但也有 52%的煤炭资源集中在北部的黑龙江，而工业集中在辽宁。4 种主要炼焦煤种中，瘦煤、焦煤和肥煤有一半左右集中在山西，而拥有大型钢铁企业的华东、中南、东北地区，炼焦煤很少。在东北地区，钢铁工业在辽宁，炼焦煤大多在黑龙江；西南地区，钢铁工业在四川，而炼焦煤主要集中在贵州。这一分布特征决定了我国煤炭基地远离煤炭消费市场、西煤东运、北煤南运的基本生产格局，从而加剧了煤炭运输的压力和成本，并成为制约煤炭工业发展，影响国民经济快速增长难以逾越的障碍。

生态环境的保护与建设是需要以大量资金和技术投入为条件的，生态环境建设最终要依靠经济的发展，因此经济欠发达地区的生态环境保护一直是世界性难题。我国煤炭资源集中分布的省区大多是经济欠发达和不发达的地区，农、林、牧业是这些地区的主要支柱产业，而且许多地区是我国的重要生态屏障。农、林、牧业是受生态环境影响最直接的产业，采矿会带来生态环境的破坏，直接影响当地农、林、牧业的发展。相反，恢复建设因采矿受到破坏的生态环境需要大量的经济和技术投入，这与当地落后的经济发展现状存在着突出的矛盾。如若不能合理处理采矿与生态环境建设之间的关系，采矿后缺乏生态环境恢复建设的认识和投入，有些地方甚至出现贫困与环境问题的恶性循环，给当地经济社会持续发展带来巨大挑战。

3) 资源丰度与生态环境及水资源呈逆向分布。我国水资源比较贫乏，人均占有量仅相当于世界人均占有量的 1/4，而且地域分布不均衡，总体分布格局是南多北少，东多西少，水资源的这一分布格局恰与煤炭资源分布格局相反。南北以昆仑山—秦岭—大别山一线为界，该线以南水资源较为丰富，以北水资源短缺。北方以太行山为界，东部水资源较为丰富，西部水资源贫乏。水资源的这一分布格局决定了我国西北地区因水资源贫乏成为生态环境脆弱区。煤炭资源蕴藏量最为丰富、埋深较浅、煤品普遍较好的新疆、内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃等省区多为我国西北典型的干旱、半干旱生态环境脆弱区，沙漠、沙地广布，植被稀